ÜBER DEN EINFLUSS

DER

MECHANISCHEN HÄRTE

AUF DIE

MAGNETISCHEN EIGENSCHAFTEN DES STAHLES UND DES EISENS.

INAUGURAL-DISSERTATION

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT

DER

UNIVERSITÄT WÜRZBURG

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

VORGELEGT VON

LOUIS M. CHEESMAN A. B.

AUS NEW-YORK.

LEIPZIG,
DRUCK VON METZGER & WITTIG.
1882.

ÜBER DEN EINFLUSS

DER

MECHANISCHEN HÄRTE

AUF DIE

MAGNETISCHEN EIGENSCHAFTEN DES STAHLES UND DES EISENS.

INAUGURAL-DISSERTATION

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT

DER

UNIVERSITÄT WÜRZBURG

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

VORGELEGT VON

LOUIS M. CHEESMAN A. B.

AUS NEW-YORK.

LEIPZIG,
DRUCK VON METZGER & WITTIG.
1882.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549806_0156

SEINEN THEUREN ELTERN

IN

LIEBE UND DANKBARKEIT

GEWIDMET

VOM

VERFASSER.

Es ist allgemein bekannt, dass verschiedene Metalle und deren Legirungen, wenn ihre Elasticitätsgrenze überschritten wird, eine Härte annehmen.

Der Einfluss, welchen diese mechanische Härte auf die physikalischen Eigenschaften der Metalle ausübt, ist nur in wenigen Richtungen erforscht worden, und obwohl die magnetischen Eigenschaften des Stahles und des Eisens als Function der Härte der Gegenstand vielseitiger Untersuchung gewesen sind, beziehen sich diese Untersuchungen nur auf diejenigen Zustände, welche unter dem Einfluss der Temperatureinwirkungen hervorgebracht werden können.

Eisen und Stahl, mechanisch gehärtet, sind niemals, so weit es mir bekannt ist, einer gründlichen Untersuchung betreffs ihrer magnetischen Eigenschaften unterworfen worden, obwohl die Thatsache, dass die mechanische Härte einen Einfluss auf den magnetischen Zustand ausübt, keineswegs unbekannt ist.

Im vorigen Jahrhundert behauptete Coulomb[1]), dass das Härten des Eisens und des Stahles „nicht durch Glühen und Ablöschen erzeugt zu sein" braucht. „Schon eine mechanische Härtung bewirkt eine Zunahme des permanenten Momentes."

Airy[2]) sagt z. B.: „Kalt gewalztes Eisen nimmt im Verhältniss von 6 zu 5 mehr Magnetismus an als das heiss gewalzte."

Auch von Waltenhofen[3]) spricht von dem Einfluss, welchen die Bearbeitung von Feilspänen auf den magnetischen Zustand ausüben könnte.

Es erschien deshalb lohnend, auf diesen Gegenstand etwas näher einzugehen, und so unternahm ich es auf Anregung von H. Prof. F. Kohlrausch, die Beziehungen zwischen den magnetischen Eigenschaften des Eisens und des Stahles

1) Coulomb, Mém. de l'Acad. roy. des science. p. 266. 1784. Wied. Galv. **2.** a. p. 341.

2) Airy, Fortschr. der Physik. **19.** p. 454. 1863.

3) v. Waltenhofen, Wied. Ann. **7.** p. 416. 1879.

und dessen mechanischer Härte einer besonderen Untersuchung zu unterziehen.

1. Material. Der Stahl, der bei diesen Versuchen benutzt wurde, war hauptsächlich der im Handel als „Englischer Silberstahl“ vorkommende, welcher in drei verschiedenen Sendungen von der Fabrik M. Crook's Brothers in Sheffield und Manchester bezogen wurde. Die Drähte hatten eine Länge von ungefähr 330 mm, und die drei Durchmesser betrugen 1,0 mm, 1,2 mm und 1,6 mm; hierzu kommen noch einige Stäbe, die nachher erwähnt werden.

Die Mehrzahl der Eisenmagnete wurde von einem langen ausgeglühten Draht verfertigt, dessen Durchmesser 1,6mm betrug.

Alles Material ist, wenn nicht speciell anders angedeutet wird, vor dem Gebrauch in einem eisernen Kasten, mit Hammerschlag umhüllt, langsam ausgeglüht worden.

Um eine möglichst langsame Erkaltung der Drähte zu erzielen, wurden sie aus dem von selbst erloschenen Feuer nicht früher herausgenommen, als bis alles kalt war. Nach dem Ausglühen wurden die Drähte so weit als möglich von jeder fremden mechanischen Wirkung, wie Biegen, Einklemmen, etc. geschützt.

2. Härtungsverfahren. Um Drähte von verschiedenen Härtegraden herzustellen, ging man von einem ausgeglühten Draht aus und ertheilte ihm eine Härte durch Klopfen, Biegen, Ziehen durch Löcher oder Dehnen.

Das Ziehen durch Löcher von abnehmendem Durchmesser bietet den Vortheil, dass man Drähte von verschiedenen Härtegraden mit demselben Enddurchmesser herstellen kann, indem man Drähte durch eine ungleiche Anzahl von Löchern zieht, ausglüht und dann alle auf dasselbe Endloch bringt.

Da indessen die Durchmesser der Löcher in einem Drahtzug keineswegs gleichmässig abnehmen, und da ferner jeder Draht nach dem Ausglühen abgerieben werden musste, so kann man von einer Proportionalität zwischen der Anzahl der Löcher, durch welche der Draht gezogen worden ist, und der auf diese Weise erreichten Härte wohl nicht sprechen. Auch der Umstand, wie gerade und wie schnell man den Draht durchzieht, kommt bezüglich seiner Härte bedeutend in Betracht.

3. Eintheilung. Die Arbeit zerfällt in zwei Theile. Beim ersten handelt es sich nur um das bei starken magnetisirenden Kräften erreichte permanente Moment; beim zweiten aber sowohl um das temporäre, wie um das permanente Moment bei verschieden starken Kräften.

I. Theil.

Im allgemeinen war der Gang der Versuche dieses Theiles der, dass man Reihen von Drähten von verschiedener Härte, und zwar je eine Reihe von möglichst gleichen Dimensionen herstellte, magnetisirte und bezüglich ihres magnetischen Momentes untersuchte.

4. Magnetisirung. Da es wünschenswerth war, das Magnetisiren beliebig oft und zu jeder Zeit vornehmen zu können, konnte die Methode mittels Spule und Strom als zu umständlich nicht angewandt werden.

Es wurden deshalb verschiedene andere Methoden des Magnetisirens mit permanenten Magneten versucht und schliesslich die folgende aus dem Grunde beibehalten, weil sie mit einander am besten stimmende Resultate lieferte.

Die zu magnetisirenden Drähte wurden nämlich auf die Pole eines vertical stehenden Hufeisenmagnetes[1]) gelegt, kurze Drähte mittelst Zwischenlegen weicher Eisenstücke, einige mal um ihre eigene Axe gedreht, um die verschiedenen Theile in Berührung zu bringen, und dann vertical so hoch hinauf gerissen, bis sie ausserhalb des magnetischen Feldes waren. Dieses letzte Verfahren war deshalb nothwendig, weil durch blosses Annähern bis auf einige Centimeter an den Magnet die Eisendrähte magnetisch wurden. Das Magnetisiren wurde wiederholt, bis der Ausschlag des Magnetometers innerhalb $^1/_2$ % constant geworden war.

In den bei weitem meisten Fällen gab die zweite Magnetisirung den ersten Ausschlag innerhalb dieser Grenze wieder. Nachträgliche Magnetisirungen mit einer Spule und dem Strom von einer dynamoelectrischen Maschine ergaben Resultate, die mit den nach der angegebenen Methode ausgeführten bis auf $^1/_2$ % übereinstimmten. Zwischen der Magneti-

1) Ein Hufeisenmagnet von Funckler; Tragkraft 50 kg.

sirung und der Bestimmung des Momentes durften die Magnete keinerlei Erschütterung ausgesetzt werden, denn sie erwiesen sich, wie später gezeigt werden wird, in dieser Beziehung sehr empfindlich.

5. Bestimmung des magnetischen Momentes. Die Bestimmung des magnetischen Momentes wurde in der ersten Hauptlage mit einem kleinen Magnetometer, und mit Fernrohr und Scala ausgeführt.

Der Sauerwald'sche Stahlspiegel [22 mm Durchmesser], der an einem einzigen Coconfaden aufgehängt war, wurde durch einen Kupferdämpfer beruhigt.

Die zu untersuchenden Magnete waren mittelst einer hölzernen Rinne drehbar an der Alhidade eines Theilkreises befestigt und wurden behufs der Elimination des Nullpunktes des Magnetometers sowie einer ungleichmässigen Vertheilung des Magnetismus abwechselnd mit dem Nord- und Südpol gegen das Magnetometer gerichtet.

Der Abstand zwischen dem Spiegel und dem Magnet wurde innerhalb 0,15 mm bestimmt und betrug durchschnittlich 450 mm. Der Abstand zwischen dem Spiegel und der Scala war ungefähr 2000 mm.

6. Berechnung der Versuche. Die Versuche wurden nach folgender Formel berechnet:

$$s = \frac{M}{m} = \frac{1}{2} \frac{r^3 T \operatorname{tg} \varphi}{1 + \frac{1}{2} \frac{l^2}{r^2}} \cdot \frac{1}{m} \; \mathrm{mm}^{1/2} . \mathrm{mg}^{-1/2} . \mathrm{sec}^{-1}.$$

Darin bedeutet:

s[1]) den specifischen Magnetismus,
M das magnetische Moment,
m die Masse des Magnets in mg,
φ den Ausschlagswinkel des Spiegels,
T die horizontale Componente des Erdmagnetismus,
r den Abstand zwischen dem Spiegel und dem Mittelpunkt des Magnets in mm,
l den Polabstand des Magnets in mm.

1) Der specifische Magnetismus (s) (magnetisches Moment dividirt durch die Masse des Magnets) ist statt des magnetischen Momentes stets angegeben, weil er bei den verschiedenen Dimensionen und specifischen Gewichten der Magnete die einzig massgebende Zahl ist.

T wurde nach einer absoluten Bestimmung des Hrn. Prof. Kohlrausch und einer relativen von mir zu 1,95 gefunden, welche Zahl bei den Berechnungen zu Grunde gelegt wurde.

Als Annäherung wurde l gleich 0,85 der Länge des Magnets angenommen.

Das Torsionsverhältniss des Fadens wurde zu 0,00027 gefunden und deshalb unberücksichtigt gelassen.

Versuchsreihen.

7. Versuche mit Eisen.

Reihe I.[1]) Eisen. Länge = 90 mm.

Nr.	Zustand	Durchmesser	Ausschlag in Scalentheilen	Specifischer Magnetismus
1.	Natürlich . . .	1,70 mm	22,0 mm	161
2.	Geklopft . . .	1,71 „	27,9 „	208
3.	Gedehnt	1,60 „	31,7 „	276
4.	Gedehnt	1,61 „	30,8 „	253

Diese Magnete sind von dem schon unter „Material“ erwähnten ausgeglühten Eisendraht. Bei den Drähten Nr. 3 und 4, die als gedehnt bezeichnet sind, wurde das eine Ende festgeklemmt und das andere mit der Hand stark gezogen. Es zeigt sich hier ein grösserer specifischer Magnetismus bei den harten Drähten, als bei den weichen. Die Zunahme desselben erreicht bei Nr. 3 fast $^3/_4$ des ursprünglichen Werthes.

Reihe II. Eisen. Länge 100 mm. Durchmesser 0,94 mm.

Nr.	Anzahl der Löcher	Ausschlag	Specifischer Magnetismus
1.	0	16,8 mm	341
2.	1	25,2 „	490
3.	2	26,6 „	489
4.	3	26,3 „	492
5.	4	28,1 „	525
6.	5	25,6 „	491
7.	6	27,6 „	526
8.	6	29,8 „	557

Diese Drähte wurden gehärtet, indem sie durch Löcher gezogen wurden.

1) Nicht speciell ausgeglüht.

Hier zeigt sich, wenn auch nicht in sehr regelmässiger Weise, eine Zunahme des specifischen Magnetismus mit der Anzahl der Löcher, durch welche der Draht gezogen wurde. Der Unterschied des specifischen Magnetismus bei Nr. 1 weich und Nr. 8, sechsmal gezogen, beträgt ungefähr 60%.

Reihe III. Eisen. Länge 100 mm. Durchmesser[1]) 1,67 mm.

Nr.	Zug	Ausschlag	Specifischer Magnetismus	No.	Zug	Ausschlag	Specifischer Magnetismus
1.	0 kg	25,2	164	6.	45 kg	30,3	201
2.	0 „	24,6	160	7.	55 „	31,9	217
3.	10 „	26,4	173	8.	60 „	32,5	230
4.	25 „	25,0	165	9.	65 „	33,3	241
5.	35 „	30,8	204	10.	65 „	35,4	275

Diese Drähte wurden in einem Perreaux'schen Apparat einem Zug unterworfen, dessen Betrag in Kilogrammen in der ersten verticalen Columne angegeben ist.

Hier steigen die Werthe des specifischen Magnetismus, wie auch zu erwarten ist, gleichmässiger als in Reihe II, denn die Drähte sind jedenfalls gleichmässiger behandelt worden. Draht Nr. 1, gehämmert, die dadurch hervorgebrachte Verlängerung 1 mm abgeschnitten, gab nach Magnetisirung 195 als den Werth für den specifischen Magnetismus.

Draht Nr. 2, seiner Länge nach gebogen, und wieder gerade gemacht, besass nach Magnetisirung den specifischen Magnetismus 189.

Die Zunahme des specifischen Magnetismus dieser Reihe mit der Härte beträgt ungefähr 70%, also nicht von der der Reihe I und II sehr verschieden.

Ein Gusseisenstab von 102 mm Länge und 7 mm Durchmesser gab im weichen Zustande für den specifischen Magnetismus den Werth 40,7; nachdem er gehämmert und wieder magnetisirt wurde 44,1. Wegen der Zerbrechlichkeit dieser Art von Eisen konnte nur ein sehr mässiges Hämmern angewandt werden.

1) Der Durchmesser nahm mit dem Zug von 1 bis 10 um ungefähr 2% ab.

8. Versuche mit Stahl. Bei den Versuchen mit Stahl hat man mit einem Umstand zu kämpfen, der bei den Eisenversuchen nur in relativ sehr geringem Grade auftritt, nämlich mit der Ungleichheit des Materials. Die verschiedenen Drähte derselben Sendung nahmen manchmal nicht nur im weichen, sondern auch im abgelöschten Zustande sehr verschiedene Quantitäten von Magnetismus an und zeigten sich auch in ihrer Festigkeit recht verschieden.

Es schienen z. B. in einer Sendung englischen Silberstahles zwei verschiedene Sorten vorhanden zu sein, denn einerseits rissen die Drähte entweder bei einem Zug von ungefähr 80 oder 125 kg; andererseits gab eine Reihe von vierzehn glasharten Magneten derselben Sendung bei gleicher Behandlung Ausschläge von ungefähr 60 oder 30 Scalentheilen. Ein und derselbe Draht dagegen erwies sich als ziemlich homogen. Es wurde deshalb bei diesen Versuchen gewöhnlich ein Stück von jedem Draht des Vergleichs wegen weich behalten.

Stahl.

Reihe IV. Englischer Silberstahl. Länge 100 mm. Drei Drähte.

	Durchmesser	Ausschlag in Scalentheilen	Specifischer Magnetismus
Draht 1.	mm		
a Zerrissen durch einen Zug von 125 kg	1,48	51,9	452
b. Weich	1,56	85,6	685
Draht 2.			
a. Einem Zug von 60 kg unterworfen .	1,51	59,2	499
b. Weich	1,54	72,2	580
Draht 3.			
a. Einem Zug von 30 kg unterworfen .	1,51	76,5	621
b. Gebrochen durch einen Zug von 77 kg	1,52	46,0	379
Draht 1_b gehämmert		65,5	524
Draht 2_b gehämmert		61,1	480

Hier zeigt es sich, dass bei jedem Draht der weichere Theil einen grösseren specifischen Magnetismus annahm als der härtere.

Reihe V. Länge = 90 mm.

Drei Drähte I, II und III von weichem Stahl aus dem hiesigen Laboratorium, nicht speciell ausgeglüht. Die Drähte wurden wie in „Reihe III. Eisen“ gehärtet.

Draht	Zug in kg	Durchmesser	Ausschlag in Scalentheilen	Specifischer Magnetismus
II_a	0	1,28	61,4	781
I_a	0	1,28	60,0	756
III_a	0	1,28	60,1	769
I_b	20	1,27	61,0	776
II_b	30	1,29	61,1	773
I_c	50	1,28	61,1	775
III_b	55	1,27	60,2	774
III_c	60	1,28	55,2	708
III_d	65	1,26	48,4	623
II_c	70	1,29	50,1	637
I_d	75 (brach)	1,29	43,7	556

Wie in Reihe IV, ist auch hier der specifische Magnetismus desto kleiner, je härter der Draht ist.

Es tritt auch in dieser Reihe ein Umstand hervor, der sich während der Arbeit häufig zeigte, nämlich dass eine ziemliche Kraft nöthig ist, um eine Zustandsänderung im Stahl hervorzurufen, die einen Einfluss auf das magnetische Verhalten ausübt.

Viele derartige Versuche mit Eisen und Stahl wurden angestellt; indem aber das Resultat bei allen dasselbe war, und nichts neues sich herausstellte, dürften die schon angeführten genügen. Alle bis jetzt gemachten Versuche zeigten, dass mechanisch hartes Eisen mehr Magnetismus anzunehmen im Stande ist als weiches, und dass das Verhalten des Stahles ein umgekehrtes ist.

9. Einfluss des Axenverhältnisses. Dieser Satz über das Verhalten des Stahls hat, wie spätere Versuche bewiesen, keine allgemeine Geltung, indem er durch einen Umstand, welcher jetzt erläutert werden soll, modificirt wird.

Ein Stahlstab, dessen Bezugsquelle unbekannt war, von 117 mm Länge und 7,0 mm Durchmesser gab in weichem Zustande einen specifischen Magnetismus von 100; nachdem er gehämmert und wieder magnetisirt war, stieg der Werth des specifischen Magnetismus bis auf 133. Hier war also ein von allen den früheren mit Stahl gemachten Erfahrungen, total abweichendes Verhalten gegeben. Die Vermuthung lag nahe, dass der Stab Eisen wäre; dieses wurde aber durch

die Härte, welche er durch Ablöschen annahm, widerlegt. Versuche mit Stäben von englischem Silberstahl von denselben Dimensionen, wie die des eben genannten Stabes, ergaben gleichfalls eine Zunahme des specifischen Magnetismus mit der Härte.

Nach diesen letzten Versuchen blieb nichts anderes übrig, was dieses abweichende Verhalten erklären konnte, als die verschiedenen Dimensionen der Stäbe und Drähte.

Um dies zu erproben, wurde ein Magnet von englischem Silberstahl, 21,0 mm lang und von einem Durchmesser von 1,54 mm untersucht. Er gab im mechanisch harten Zustande einen 30% grösseren specifischen Magnetismus als im weichen. Diese Erscheinung des grösseren Moments im harten Stahl gegenüber dem weichen, wenn die Länge verhältnissmässig klein gegen den Durchmesser ist, und die umgekehrte, wenn der Magnet gestreckt ist, war so in Uebereinstimmung mit dem von Ruths[1]) an verschieden harten Stahlstäben (durch Ablöschen und Anlassen gehärtet) beobachteten Verhalten, dass dieser Punkt sofort weiter untersucht wurde.

Es wurden dann drei Reihen von Versuchen gemacht mit harten und weichen Drähten von verschiedenen Axenverhältnissen.[2]) Die Drähte je einer Reihe besassen so weit als möglich denselben Durchmesser.

Die Resultate sind unten in den Reihen VI. VII. u. VIII. aufgeführt, wo ein harter Draht mit (a), ein weicher mit (b) bezeichnet ist.

Verschiedene Axenverhältnisse.

Reihe VI. Englischer Silberstahl.

Die Längen 21 mm hart und weich sind von demselben Draht, sowie die Längen 60 und 40 hart und weich von einem anderen. Die harten Drähte wurden durch einen Zug von 70 kg gehärtet.

1) Ch. Ruths. Ueber den Magnetismus weicher Eisencylinder. Dortmund 1876.

2) (Wir nennen L/D [$= \alpha$] das Axenverhältniss).

Draht	Länge	Axenverhältniss (α)	Ausschlag in Scalentheilen	Specifischer Magnetismus
1_b	21,0 mm	13,7	10,9	80
1_a	21,0 „	14,3	13,3	102
2_b	40,0 „	26,0	50,0	190
2_a	40,0 „	26,7	62,2	247
3_b	60,0 „	39,0	124,0	309
3_a	60,0 „	40,8	124,1	338
4_b	120,0 „	80,0	600,1	742
4_a	120,0 „	78,4	428,7	522

Reihe VII. Von einem Draht englischen Silberstahls.

Die harten Drähte wurden aus den weichen (1_b, 2_b, 3_b) durch Hämmern hergestellt.

Draht	Länge[1])	Axenverhältniss (α)	Ausschlag in Scalentheilen	Specifischer Magnetismus
1_b	31,0 mm	20,1	31,8	162
1_a	31,3 „	20,1	38,5	186
2_b	60,0 „	38,9	175,2	454
2_a	61,0 „	39,1	176,4	456
3_b	100,0 „	64,9	463,7	706
3_a	101,0 „	65,4	371,9	566

Reihe VIII. Von einem Draht englischen Silberstahls. Die Härtung wie in Reihe VII vorgenommen.

Draht	Länge[2])	Axenverhältniss (α)	Ausschlag in Scalentheilen	Specifischer Magnetismus
1_b	27,0 mm	22,5	18,0	164
1_a			19,8	180
2_b	48,5 „	40,4	92,3	480
2_a			93,0	484
3_b	70,3 „	58,6	217,0	756
3_a			173,8	604

Die Resultate sind in den zugehörigen Curven Taf. II Fig. 3 graphisch dargestellt.

Diese Reihen VI. VII u. VIII zeigen deutlich, wie das magnetische Moment des Stahles nicht nur von dem Härtezustand, sondern auch von dem Axenverhältniss (α) abhängig ist; indem nämlich unter einem gewissen Werthe von α ein harter Draht ein grösseres Moment als ein weicher besitzt.

---

1) Dass die harten Drähte länger als die weichen sind, kommt von dem Hämmern her.

2) Durch Versehen wurde die Verlängerung durch Hämmern nicht gemessen.

Der Werth α_0, welcher dem Kreuzpunkt der Curven der weichen und harten Drähte entspricht, der Punkt also, wo das magnetische Moment von der Härte unabhängig ist, lag in allen meinen Versuchen sehr nahe an 41. Ob die gute Uebereinstimmung der Werthe für α_0 zufällig gewesen ist, oder überhaupt inwiefern α_0 für verschiedene mechanisch gehärtete Stahlsorten constant sei, wurde nicht weiter untersucht. Ruths fand bei seiner Untersuchung α_0 zwischen 30 und 40. Trotzdem, dass Eisen innerhalb eben so weiter Grenzen untersucht wurde als Stahl, ist kein ähnliches Verhalten bei ihm nachgewiesen worden.

Fassen wir die bis jetzt gefundenen Resultate zusammen, so glaube ich schliessen zu dürfen, dass innerhalb der beobachteten Grenzen bei Benutzung starker magnetisirender Kräfte:

Eisen in mechanisch hartem Zustande mehr permanenten Magnetismus anzunehmen vermag, als in weichem; dass dagegen das magnetische Moment eines Stahlmagnets in mechanisch hartem Zustande grösser oder kleiner ist als in weichem Zustande, je nach dem das Axenverhältniss kleiner oder grösser ist als ein bestimmter Uebergangswerth.

10. Einfluss des Ausglühens. Es könnte wohl die Frage entstehen, ob die Zustandsänderung, welche durch die angewandten Methoden hervorgebracht wurde, und welche diese magnetische Erscheinung bedingt, permanent ist, oder ob sie durch Ausglühen vergeht.

Um dies zu entscheiden, wurde eine Anzahl von den schon untersuchten Drähten ausgeglüht, abgerieben und nach Magnetisirung bezüglich ihres Magnetismus bestimmt. In folgender Tabelle sind die Resultate zur Beantwortung dieser Frage zusammengestellt. Die erste Columne giebt die Bezeichnungen der Drähte an; die zweite die specifischen Magnetismen, die sie vor dem Ausglühen besassen; die dritte die specifischen Magnetismen, die sie nach dem Ausglühen (von dem vorhandenen weichen Probestücken berechnet) hätten annehmen sollen; die vierte die wirklich gefundenen Magnetismen.

	Specif. Magnetismus vor dem Ausglühen	Specif. Magnetismus, der nach dem Ausglühen angenommen werden sollte	Wirklich angenommener specif. Magnetismus nach dem Ausglühen
Reihe II. Eisen Nr. 8	557	341	480
Reihe I. Eisen Nr. 3	276	161	185
Reihe V. Stahl I_d . .	556	760—780	816
Reihe V. Stahl 3_c . .	708	760—780	789
Stahlstab	133	100	104

Nur Draht, Eisen Reihe II. Nr. 8, zeigt eine grosse Abweichung von dem erwarteten Werthe: dies könnte wohl daran liegen, weil derselbe sehr dünn war, sodass ihm durch das in diesem Falle nöthige Abreiben und Geradbiegen eine Härte ertheilt wurde.

Diese ausgeglühten Drähte wurden dann gehämmert, magnetisirt und wieder bestimmt, und es zeigte sich bei allen die Aenderung der magnetischen Capacität in dem Sinne, wie man von den schon gemachten Erfahrungen erwartet hatte.

Man dürfte daraus schliessen, dass die Aenderung des Zustandes, welche der mechanischen Härte unterliegt und sich durch ihr magnetisches Verhalten auszeichnet, durch Ausglühen vergeht, aber dann wieder hervorgerufen werden kann.

11. Einfluss der Erschütterung. Wie vorhin angedeutet, wirkt Erschütterung nach der Magnetisirung in hohem Grade auf die Magnete der untersuchten Art ein. Die Erschütterung wurde dadurch hervorgebracht, dass man die Magnete auf einen steinernen Boden fallen liess. Das magnetische Moment vorher und nachher sowohl wie die Fallhöhe wurden bestimmt. Es möge das Resultat durch folgende Beispiele erläutert werden. Des Vergleichs wegen sind die Verluste bei zwei abgelöschten Stahlstäben angegeben.

Nr.	Bezeichnung der Drähte	Fallhöhe	Verluste
1.	Stahldraht weich	1,5 m	30%
2.	„ mechanisch hart . .	2,0	44 „
		3,0	57 „
3.	„ weich	3,0	55 „
4.	Stahlstab mechanisch hart . . .	2,0	52 „
		7 mal auf den Boden geworfen	81 „

Nr.	Bezeichnung der Drähte	Fallhöhe	Verluste
5.	Eisendraht mechanisch hart . .	2,0	84%
		3 mal 2,0	95 „
6.	„ „ „ . .	3,0	84 „
7.	„ weich	2,0	83 „
		3,0	99 „
8.	Eisenstab weich	2,0	97 „
9.	Stahldraht, glashart	3,0	6 „
10.	„ „	3,0	4 „

Wie zu erwarten war, und wie in den Arbeiten von Külp[1]) schon dargelegt ist, zeigen die Eisenmagnete einen grösseren Verlust als die Stahlmagnete. Eine Regelmässigkeit zwischen Härte und Verlust war aus den Versuchen nicht zu entnehmen.

II. Theil.

Der nun folgende zweite Theil dieser Untersuchungen soll sich insbesondere mit der Frage beschäftigen, inwiefern etwa die mechanische Härte einen Widerstand gegen die magnetisirende Kraft ausübt; es wurden zu dem Zwecke Versuche sowohl bezüglich des temporären wie auch des permanenten Magnetismus bei verschieden starken magnetisirenden Kräften angestellt.

12. Anordnung der Versuche. Die Anordnung des Apparates war die, welche bei solchen Versuchen gewöhnlich gebraucht wird.[2]) Um die Einrichtung, das permanente Moment zu bestimmen, nicht verändern zu müssen, brachte man die zwei Spulen beiderseits des Magnetometers in der zweiten Hauptlage an und stellte sie so ein, dass ihre Wirkung auf das Magnetometer nahezu aufgehoben war. Der Verlauf des Stromes war folgender: von der Batterie durch die zwei Spulen, von da aus durch einen veränderlichen Widerstand zu einem Stromunterbrecher und dann durch eine Tangentenbussole zur Batterie zurück; in der Leitung vor der Bussole befand sich ein Commutator, welcher den Strom in derselben umkehrte.

1) Külp, Carl Repert. **16.** p. 146. 1880.
2) Vgl. Ruths.

Als Stromquelle dienten grosse Bunsen'sche Elemente von passender Zahl.

Die magnetisirende Spule hatte mit einer Länge von 223 mm, einem äusseren Durchmesser von 52 mm und einem inneren von 19 mm zehn Lagen von durchschnittlich 55 Windungen. Die compensirende Spule war etwas kleiner. Behufs einer besseren und bequemeren Einstellung der Magnete in die Spule war ein passendes, mittelst Kork befestigtes Glasrohr durch die Mitte der Spule gesteckt und ragte an beiden Seiten etwas hervor; die Magnete schob man mit einem Glasstäbchen bis an die Mitte der Spule hinein.

Die Tangentenbussole bestand aus einem Kupferring mit einem mittleren Durchmesser von 404 mm. Die 20 mm lange Bussolennadel spielte mit Glasfäden über einer Gradtheilung auf Spiegelglas.

Der Gang der Beobachtung war folgender:

1) Man beobachtete die Einstellung des Magnetometers bei offenem Strom,

2) bei geschlossenem Strom,

3) bei geschlossenem Strom mit dem Magnet in der Spule;

4) dann wurde der Ablenkungswinkel an der Bussole abgelesen;

5) zuletzt beobachtete man die Einstellung des Magnetometers bei offenem Strom mit dem Magnet in der Spule.

Einstellung 3 minus Einstellung 2 ergab den von dem temporären Magnetismus herrührenden Ausschlag; Einstellung 5 minus Einstellung 1 den von dem permanenten.

13. Berechnung der Versuche. Die Berechnung dieser Versuche zerfällt in die Berechnung der magnetischen Scheidekraft und die des entsprechenden temporären und permanenten Magnetismus.

a) Berechnung der Scheidekraft. Hier zerfällt die Berechnung wieder in zwei Theile; die Berechnung der Stromstärke und die der Constanten für die magnetische Wirkung der Spule, womit man die Stromstärke zu multipliciren hat, um die Scheidekraft zu erhalten.

Die Stromstärke wurde nach der Formel: $i = A \operatorname{tg} \varphi'$ berechnet, wo $A = Tr/2\pi$ den Reductionsfactor auf absolutes Maass bedeutet; darin ist r gleich dem Halbmesser der Bussolenwindung, die Bedeutung der anderen Grössen ist bekannt.

Das Glied, welches des Durchschnitts der Windungen wegen zu dieser Formel kommt, fällt weg, weil blos eine Windung vorhanden war. Das Correctionsglied für die Nadellänge übte im äussersten Falle einen Einfluss innerhalb der Beobachtungsfehler aus und wurde deshalb nicht berücksichtigt. Die Constante A wurde zu 62,7 berechnet.

Die magnetisirende Wirkung der Spule. Die Formel:

(I) $$X_x = \frac{i\pi n}{a}\left[\frac{a-x}{\sqrt{(a-x)^2+r^2}} + \frac{a+x}{\sqrt{(a+x)^2+r^2}}\right]$$

gibt bekanntlich die magnetisirende Wirkung einer Spule von der Länge $2a$, dem Halbmesser r und von n Windungen auf einen in der Axe der Spule um x von ihrer Mitte entfernt liegenden Punkt an.

Um die mittlere Wirkung einer solchen Spule für die Länge $2b$ eines dünnen, in der Axe liegenden Stabes zu erhalten, hat man Formel (I) mit $2b$ zu dividiren und nach x, zwischen den Grenzen $x = -b$ bis $x = b$, zu integriren. So erhält man die Formel:

(II) $$X_{2b} = \frac{1}{2b}\int_{x=-b}^{x=b} X_x\, dx = \frac{\pi n i}{ab}\left[\left\{(a+b)^2+r^2\right\}^{1/2} - \left\{(a-b)^2+r^2\right\}^{1/2}\right].$$

Die mittlere Wirkung der Spule endlich für die c Windungslagen erhält man von Formel (II) durch Multiplication mit $c/(r''-r')$, (wo r'' den äusseren und r' den inneren Durchmesser der Spule bedeutet) und Integriren nach r zwischen den Grenzen $r = r'$ bis $r = r''$.

So erhält man nach Reduction die Formel:

$$\frac{X}{i} = \tfrac{1}{2}\frac{\pi n}{ab}\cdot\frac{c}{r''-r'}\left[(a+b)^2 \cdot \log\frac{r''+\sqrt{(a+b)^2+r''^2}}{r'+\sqrt{(a+b)^2+r'^2}}\right.$$
$$+ (a-b)^2 \log\frac{r'+\sqrt{(a-b)^2+r'^2}}{r''+\sqrt{(a-b)^2+r''^2}} + r''\left\{\sqrt{(a+b)^2+r''^2}\right.$$
$$\left.\left. - \sqrt{(a-b)^2+r''^2}\right\} + r'\left\{\sqrt{(a-b)^2+r'^2} - \sqrt{(a+b)^2+r'^2}\right\}\right].$$

Die oben angegebene Behandlung der Formel wurde der schon erwähnten Arbeit von Ruths entnommen.

Der durch diese letzte Formel berechnete Werth der Scheidekraft, dividirt durch die Stromstärke (X/i) für $2b = 100\,\text{mm}$, welche Länge sämmtliche untersuchte Magnete besassen, wurde zu 29,23 berechnet.

b) Berechnung des specifischen Magnetismus. Die Magnetismen der Stäbe wurden nach der bekannten Formel für die zweite Hauptlage:

$$s = \frac{M}{m} = \left[\frac{r^3\, T \operatorname{tg} \varphi}{1 - \frac{3}{8}\frac{l^2}{r^2}}\right] \cdot \frac{1}{m} \cdot \text{mm}^{5/2}\ \text{mg}^{-1/2}.\ \text{sec}^{-1}$$

berechnet, wo die vorkommenden Grössen die im ersten Theil der Arbeit angeführten Bedeutungen haben.

Versuchsreihen.

In den folgenden auf diese Weise gewonnenen Resultaten sind durchweg die permanenten specifischen Magnetismen mit s, die zugehörigen Magnetometerausschläge mit a, die betreffenden Grössen für den temporären Magnetismus mit s', resp. a', die Tangentenbussolenausschläge und die ihnen entsprechenden Scheidekräfte mit φ' und X bezeichnet.

Die angeführten Stahlstäbe wurden alle aus englischem Silberdraht verfertigt.

14. Versuche mit Stahl.

a) Hart. Einem Zuge von 81 kg unterworfen.
Draht I. Länge = 100 mm. Durchmesser 1,45 mm.
Axenverhältniss = 69,0.

Perm. Magnetismus		Temp. Magnetismus			
a	s	a'	s'	φ'	X
0,1	3,75	0,3	11,2	0,90	28,8
0,8	29,9	2,4	89,9	2,55	81,6
1,4	52,4	4,6	172	3,55	114
2,8	105	6,2	232	4,50	144
4,8	180	10,1	378	6,45	207
7,8	292	16,7	625	10,65	345
9,8	376	26,8	1004	19,55	651
10,9	408	32,0	1202	31,45	1125
11,0	412	33,6	1258	37,55	1410

b) Weich. Länge = 100 mm. Durchmesser = 1,48 mm. Axenverhältniss = 67,6.

Perm. Magnetismus		Temp. Magnetismus			
a	s	a'	s'	φ'	X
0,1	3,66	1,6	58,6	1,30	41,6
1,8	65,9	4,1	150	2,45	78,4
3,6	132	7,1	260	2,80	89,7
8,0	293	13,2	483	4,45	143
11,9	436	19,3	706	6,40	206
14,0	512	23,1	845	8,45	272
18,8	688	30,8	1127	18,20	603
20,0	732	34,4	1259	28,70	1004
20,1	736	35,4	1295	35,90	1327

Draht II. Länge = 100 mm. Durchmesser 1,43, Axenverhältniss 69,9.

a) Hart. (Gehämmert).

Perm. Magnetismus		Temp. Magnetismus			
a	s	a'	s'	φ'	X
0,7	24,3	2,2	76,4	2,15	68,8
2,0	69,5	5,0	174	3,45	110
3,5	122	8,4	292	4,20	135
7,3	254	14,4	500	6,00	193
10,0	347	21,2	736	9,80	317
11,9	413	25,7	893	13,50	440
14,0	486	31,8	1105	23,45	795
15,5	538	35,9	1247	40,30	1554

b) Weich. Länge = 100 mm. Durchmesser 1,41, Axenverhältniss 70,9.

0,2	7,10	1,9	67,5	1,40	43,8
1,1	39,1	4,1	146	2,30	73,6
3,7	131	7,8	277	3,00	96,1
7,3	259	13,0	462	4,35	140
10,1	359	17,1	607	5,30	170
13,8	490	23,7	842	8,40	271
16,5	586	28,7	1020	12,95	422
18,2	647	32,3	1143	18,05	597
19,9	707	35,5	1260	28,05	977
19,8	703	36,9	1310	35,70	1318

Draht III. Länge = 101,5 mm. Durchmesser = 7,0 mm. Axenverhältniss = 14,5. a) Hart. (Gehämmert.)

a	s	φ'	X	a	s	φ'	X
1,0	1,61	1,35	43,2	13,1	21,0	9,60	310
3,5	5,62	3,10	99,3	20,3	32,6	14,20	464
5,1	8,19	4,45	143	33,3	53,5	33,50	1103
9,3	13,9	6,90	222	35,5	57,0	37,65	1416

b) Weich. Länge = 100 mm. Durchm. = 7,0 mm. Axenverhältniss = 14,3.

a	s	φ'	X	a	s	φ'	X
3,2	5,10	2,25	72,0	18,0	28,7	12,85	418
4,9	7,81	3,30	106	23,1	36,8	17,85	590
6,9	11,0	4,30	138	32,2	51,3	31,90	1140
9,0	14,3	5,50	177	34,3	54,1	38,45	1450
12,6	20,1	8,50	274				

15. Versuche mit Eisen.

a) Länge = 100 mm. Durchm. 0,77 mm. Hart. Einige mal gezogen.

Perm. Magnetismus		Temp. Magnetismus			
a	s	a'	s'	φ'	X
0	0,0	0,7	91,9	1,85	59,1
0,2	26,3	1,6	110	2,10	67,2
4,1	539	5,9	775	4,20	135
5,1	670	7,2	946	5,40	173
5,9	775	9,2	1208	8,35	269
6,3	827	12,5	1642	18,10	599
b) Weich. Länge = 100 mm. Durchmesser = 0,77 mm.					
1,8	245	2,8	380	1,25	40,0
2,7	367	4,0	543	1,45	46,4
3,8	516	5,9	801	1,90	60,8
4,2	570	8,8	1195	4,15	133,0
4,3	584	9,9	1344	5,60	179,7
4,3	584	11,4	1548	13,60	443
4,3	584	11,8	1603	19,55	651

16. Folgerungen. Vergleicht man mit einander die dem temporären Magnetismus entsprechenden Curven, sowohl die des Eisens, wie die des Stahles, so ergibt sich das Resultat, dass die weichen Drähte für denselben Werth von X ein grösseres Moment als die harten besitzen; dass also, wie zu erwarten war, die mechanische Härte hemmend gegen die Drehung der Molecüle einwirkt.

Aus den Curven des permanenten specifischen Magnetismus des Eisens ist der Schluss zu ziehen, dass nur bei sehr kleinen Werthen von X das Moment eines harten Eisenmagnets kleiner als das eines weichen ist.

Beim Stahl ist von den betreffenden Curven ein dem Resultate des ersten Theiles dieser Arbeit entsprechendes Verhalten für den permanenten specifischen Magnetismus zu entnehmen; bei den Stäben mit einem grossen Axenverhältniss ist der specifische Magnetismus bei schwachen

sowie bei stärkeren Kräften grösser bei den weichen als bei der harten; für die Stäbe dagegen, wo das Axenverhältniss klein ist, hat der härtere von ihnen bei allen Kräften, mit Ausnahme der sehr schwachen, den Vortheil.

Diese Resultate entsprechen völlig dem von Ruths und Anderen beobachteten Verhalten der durch Wärme gehärteten Stäbe.

17. Differenzen zwischen der mechanischen und der Wärmehärte. Trotzdem in magnetischer Beziehung die zwei Arten von Härte viele Aehnlichkeiten erweisen, zeigen sie in anderen Beziehungen manche Verschiedenheiten und scheinen ganz verschiedene Zustände zu sein. Bezüglich des Leitungswiderstandes für die Electricität z. B. äussert sich dies am schlagendsten.

Der specifische Leitungswiderstand gezogener Eisen- und Stahldrähte ist von verschiedenen Beobachtern sehr verschieden angegeben; einige wollen eine Zunahme und andere eine Abnahme desselben mit der Härte beobachtet haben; derselbe ändert sich jedenfalls nur wenig.

Auf der anderen Seite ändert sich nach den Angaben von Barus[1]) der specifische Leitungswiderstand des Stahles durch die Wärmehärtung „fast bis auf das Dreifache.“ Die Verschiedenheiten in magnetischer Beziehung sind keineswegs überall dieser grossen Differenz entsprechend.

Ein Vergleich des specifischen Gewichtes der nach den zwei Methoden gehärteten Drähte mit dem ihnen entsprechenden magnetischen Momente führt zu demselben Resultat.

Durch Ablöschen nimmt bekanntlich das specifische Gewicht des Stahles ab und erreicht in dem abgelöschten Zustande den kleinsten Werth. Den Resultaten von Fromme[2]) zufolge nimmt durch Anlassen das specifische Gewicht wieder zu, der Magnetismus dagegen ab[3]), sodass für ein kleines Axenverhältniss das kleinste specifische Gewicht dem grössten specifischen Magnetismus entsprechen würde.

1) C. Barus, Wied. Ann. 7. p. 411. 1879.

2) Carl Fromme, Wied. Ann. 8. p. 352. 1879.

3) Die Fromme'schen Stäbe hatten sämmtlich ein kleineres Axenverhältniss als 40, das grösste war 39,2.

Der Magnetismus eines Stahlstabes, (mit einem kleinen Axenverhältniss) durch Hämmern gehärtet, nimmt dagegen mit dem specifischen Gewicht stetig zu, wie ich mich mehrmals durch den Versuch überzeugt habe.

Es möge hier erwähnt werden, dass das specifische Gewicht für den magnetischen Zustand überhaupt nicht massgebend zu sein scheint. Denn sprächen andere Umstände auch nicht dagegen, so wäre es nicht denkbar, dass das specifische Gewicht eines Stahlstabes, dessen Axenverhältniss gross ist, durch Hämmern abnehmen sollte.[1])

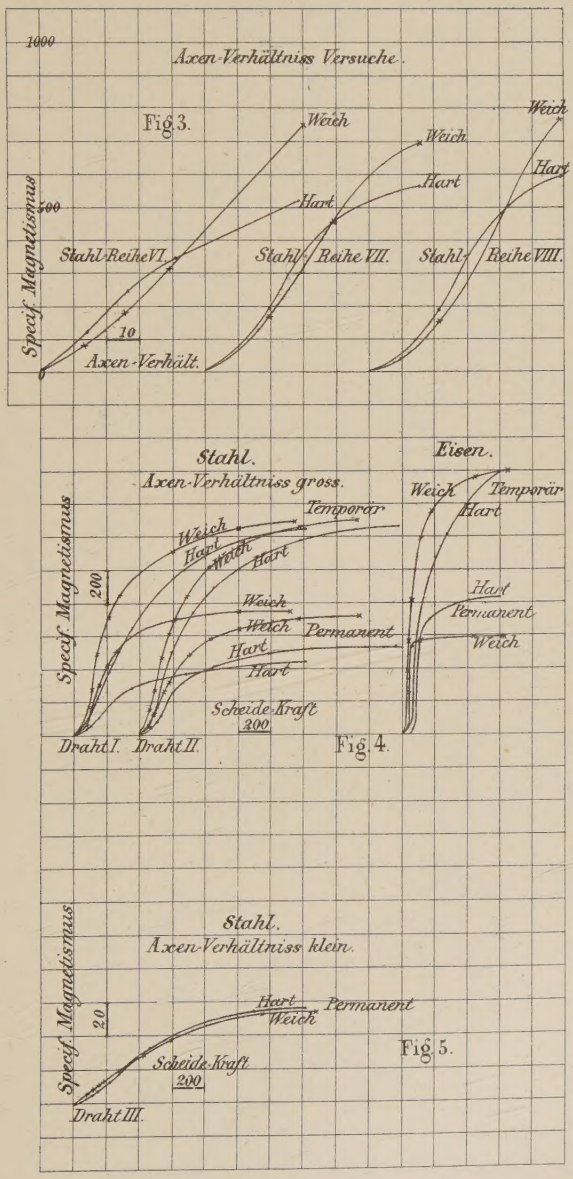
18. Schluss. Die Bestätigung des von Ruths ausgesprochenen Satzes der Abhängigkeit des specifischen Magnetismus des Stahls von dem Axenverhältniss auch für die mechanisch gehärteten Drähte beweist die Wichtigkeit dieses Punktes für den magnetischen Zustand.

Bezüglich des Verhaltens des Eisens in dieser Beziehung ist es durchaus nicht ausgeschlossen, dass ein Werth des Axenverhältnisses existirt, wo das Moment von der Härte unabhängig ist; nur muss den gemachten Versuchen zufolge der Werth desselben von dem des Stahles verschieden sein. Bei den bis jetzt mangelhaften Versuchen über diesen Punkt wäre es schwierig, diese Vorgänge vollständig zu erklären; ich hoffe aber, das Verhalten des harten und weichen Eisens bei sehr grossen und sehr kleinen Axenverhältnissen sowie überhaupt die Abhängigkeit des Werthes von α_0 von den ihn bestimmenden Variablen einer baldigen Untersuchung zu unterwerfen.

Ich erlaube mir schliesslich, Hrn. Prof. Dr. F. Kohlrausch für seine jederzeit mir gewährte Unterstützung meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

Physikal. Institut Würzburg, den 1. Nov. 1881.

1) Man vergleiche hierüber die Bemerkungen von Ruths in seiner schon oft erwähnten Abhandlung p. 48.


1000
Axen-Verhältniss Versuche.
Fig 3.
Weich
Weich
Weich
Hart
Hart
Hart
Specif. Magnetismus
100
Stahl Reihe VI.
Stahl Reihe VII.
Stahl Reihe VIII.
10
Axen-Verhält.
Stahl.
Axen-Verhältniss gross.
Eisen.
Temporär
Weich
Hart
Weich
Hart
Weich
Temporär
Hart
200
Weich
Weich
Permanent
Hart
Hart
Hart
Permanent
Weich
Scheide-Kraft
200
Draht I.
Draht II.
Fig 4.
Stahl.
Axen-Verhältniss klein.
Specif. Magnetismus
20
Hart
Weich
Permanent
Scheide-Kraft
200
Draht III.
Fig 5.